

УДК 004.4; 415.18

ВИКОРИСТАННЯ ЗАСОБІВ ОНЛАЙН ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ПОБУДОВИ ТРИВИМІРНИХ КЛІТИННИХ АВТОМАТІВ

Залевська О.В., к.т.н.,

o.zalevska@kpi.ua, ORCID: 0000-0002-3163-1695

Фіногенов О.Д., к.т.н.,

fenyaad@gmail.com, ORCID: 0000-0002-1708-5632

Ібнухсейн І.,

ibnukhsein.ines@gmail.com, ORCID: 0000-0001-8251-6104

Суворова В.Є.

valerssiya@gmail.com, ORCID: 0000-0001-5983-6070

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

В роботі розглядаються переваги використання онлайн засобів для генерації клітинних автоматів. Клітинні автомати – це дискретні, абстрактні обчислювальні системи, які виявились корисними як загальні моделі так і системи нелінійної динаміки та представлення про її конкретні виявлення [1]. Клітинні автомати є просторово та тимчасово дискретними, абстрактними обчислювальними системами: вони можуть обчислювати функції та вирішувати алгоритмічні задачі. Незважаючи на те, що вони функціонують не так, як традиційні пристрої, схожі на машини Тьюрінга, клітинні автомати з відповідними правилами можуть наслідувати універсальну машину Тьюрінга і, отже, обчислювати, враховуючи тезу Тьюрінга, будь-що, що може бути обчислене [2].

Великий інтерес складає дослідження тривимірних клітинних автоматів як таких, що мають найбільшу наближеність до об'єктів реального світу та, поведінка яких залишається найменш дослідженою. Для їх побудови та симуляції еволюції потрібне спеціалізоване програмне забезпечення. Для цілей розробки цього програмного забезпечення гарно підходять онлайн технології, що мають ряд переваг перед іншими засобами. Такими перевагами є кросплатформеність, доступ з мобільних девайсів, планшетів та інших девайсів, що мають вихід у інтернет через один з популярних браузерів, можливість користуватися сучасними хмарними сервісами для обробки великих масивів даних, не використовуючи ресурсів своїх машин, можливість паралельного виконання та швидкий доступ до програми без потреби в інсталюванні. Разом з тим присутні і недоліки, такі як потреба у безперебійному інтернет-зв'язку та проблеми з безпекою даних в інтернеті. Але, не дивлячись на існуючі недоліки, враховуючи те, що розробники можуть враховувати можливість проблем зі стабільним інтернет-зв'язком та налаштувати певну систему автозберігання стану, а також продумати

протоколи безпеки для захисту даних, ці недоліки постають не такими значними у порівнянні з недоліками альтернатив. Таким чином, можна обґрунтувати доцільність використання онлайн технологій для генерації та симулювання еволюції тривимірних клітинних автоматів.

Ключові слова: клітинні автомати, динамічні системи, онлайн технології, недоліки та переваги, динамічний процес.

Постановка проблеми. Програмне забезпечення для використання та побудови тривимірних клітинних автоматів вимагає великих ресурсних затрат від комп'ютерної техніки, що використовується. До таких ресурсів можна віднести об'єм вільної оперативної пам'яті комп'ютерної техніки, її обчислювальні можливості, швидкість проведення відповідних підрахунків та інші. Використання онлайн платформи дозволить зберігати дані великих об'ємів в хмарних технологіях та використовувати більші можливості для проведення обчислень. В зв'язку з цим виникає потреба в виявленні переваг та недоліків використання онлайн платформ для генерації та дослідження клітинних автоматів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Батьком клітинних автоматів є Джон фон Нейман. Працюючи над самовідтворенням та намагаючись надати редукціоністську теорію біологічного розвитку, фон Нейман намагався створити систему, здатну до самоподібності. За пропозицією свого колеги Станіслава Улама, фон Нейман вирішив зосередитися на дискретній двовимірній системі. Замість просто чорно-білих клітин автомат фон Неймана використовував 29 різних станів і досить складну динаміку і був здатний до самовідтворення. КА фон Неймана також був першою дискретною паралельною обчислювальною моделлю в історії, офіційно продемонстрованою як універсальний комп'ютер, тобто здатний емулювати універсальну машину Тьюрінга і обчислювати всі рекурсивні функції [3].

Томазо Тоффолі використовував клітинні автомати для безпосереднього моделювання фізичних законів, закладаючи основи для вивчення оборотних КА [4].

Роботи Стівена Вольфрама у сприяли розміщенню на науковій карті зростаючого співтовариства послідовників КА. У серії статей Вольфрам широко досліджував одновимірні КА, надаючи першу якісну таксономію їх поведінки та створюючи основу для подальших досліджень [5].

Для одновимірних та двовимірних клітинних автоматів існує широкий ряд реалізацій таких як Мурашник Ленгтона та гра «Життя» [6], але для тривимірних клітинних автоматів таких реалізацій набагато менше. Їх ми і розглянемо для того щоб провести порівняльний аналіз та обґрунтувати обрання онлайн технологій для створення програмного забезпечення генерації тривимірних клітинних автоматів.

Формулювання цілей статті. Провести огляд можливостей існуючого програмного забезпечення для дослідження тривимірних

клітинних автоматів та встановити його переваги та недоліки. Розглянути можливість використання онлайн платформи для усунення недоліків та отримання нових переваг при дослідженні клітинних автоматів.

Основна частина. Клітинні автомати (далі – КА) – це дискретні, абстрактні обчислювальні системи, які виявились корисними як загальні моделі складності, так і як більш конкретні уявлення про нелінійну динаміку в різних наукових галузях [1].

Незважаючи на інтерес до одновимірних та двовимірних КА, для яких існує широкий спектр програмного забезпечення, для їх побудови та симуляції «життєвого циклу», клітинні автомати з більшою кількістю вимірів залишаються менш вивченими, хоча тривимірні КА й підходять для представлення багатьох фізичних і біологічних явищ набагато краще, враховуючи їх більш наближену до реального життя структуру. Перехід до трьох вимірів, звичайно, розширює не тільки цікаві поєднання правил та сусідства, а також збільшує складність розрахунків, але разом і з тим дозволяє спостерігати більш цікаву поведінку.

Побудова та обчислення клітинних автоматів само собою потребує великих затрат комп'ютерних ресурсів, а додавання до цього тривимірності ускладнює роботу з клітинними автоматами більш складними обчислюваннями, більшим об'ємом затрачуваної пам'яті та потребою працювати з 3d графікою.

Наразі існує ряд програмного забезпечення для симуляції еволюції тривимірних клітинних автоматів. Серед них є такі десктоп застосування, як CA3D, calories3D, Cellumat3D, Tresvita: 3D CA simulator та 3DTotalisticCellularAutomata [7]. Але всі вище перераховані десктоп-застосування, хоч і реалізують побудову тривимірних клітинних автоматів, а деякі й візуалізацію їх еволюції та динаміки за рядом правил, вони мають ряд суттєвих недоліків через спосіб їх реалізації:

- Потреба в інсталюванні. На відміну від веб застосувань, десктопні рішення потребують місця на жорсткому диску та час на інсталяцію і правильне налаштування програмного забезпечення.

- Вимоги щодо апаратного забезпечення. З попереднього пункту випливає наступний недолік. Так як програма виконується на комп'ютері, на котрому інсталюється, її робота сильно залежить від ресурсів які може надати апаратне забезпечення. По-перше, вимоги до характеристик комп'ютера можуть взагалі не надати можливість інсталювати програму. По-друге, інсталюване програмне забезпечення може некоректно працювати або працювати не реалізуючи весь свій потенціал через, наприклад, брак оперативної пам'яті при роботі з великими обсягами даних.

- Неможливість автоматичного оновлення програмного забезпечення. При інсталюванні програмного забезпечення на свою машину ви, як користувач, повинні самостійно слідкувати за розробниками, що здійснюють підтримку та перевіряти наявність нових

версій програмного забезпечення. З іншого боку, розробники зі своєї сторони повинні слідкувати за сумісністю версій свого застосування.

– Вимоги щодо встановленої операційної системи. Розробляючи десктопне програмне забезпечення потрібно робити нелегкий вибір – під яку операційну систему розробляти і яку частину «аудиторії» позбавити можливості вставити застосування. Або ж розробляти для всіх популярних операційних систем з, очевидно, більшими затратами у часі розробки.

– Неможливість паралельного виконання. У всіх перелічених застосуваннях можлива робота лише з одним набором даних за раз на одному пристрої. У разі вибору онлайн платформи, така проблема вирішується дуже просто – відкриттям нової вкладки у браузері.

З іншої сторони, хоча таких систем не багато, існує програмне забезпечення для побудови тривимірних клітинних автоматів у формі веб сервісу. Прикладом такої платформи є веб застосування cubes.io [8] (рис. 1). Розробники даного застосування змогли позбавитись від наведених вище недоліків та отримали ряд переваг, зробивши вибір в сторону онлайн платформи.

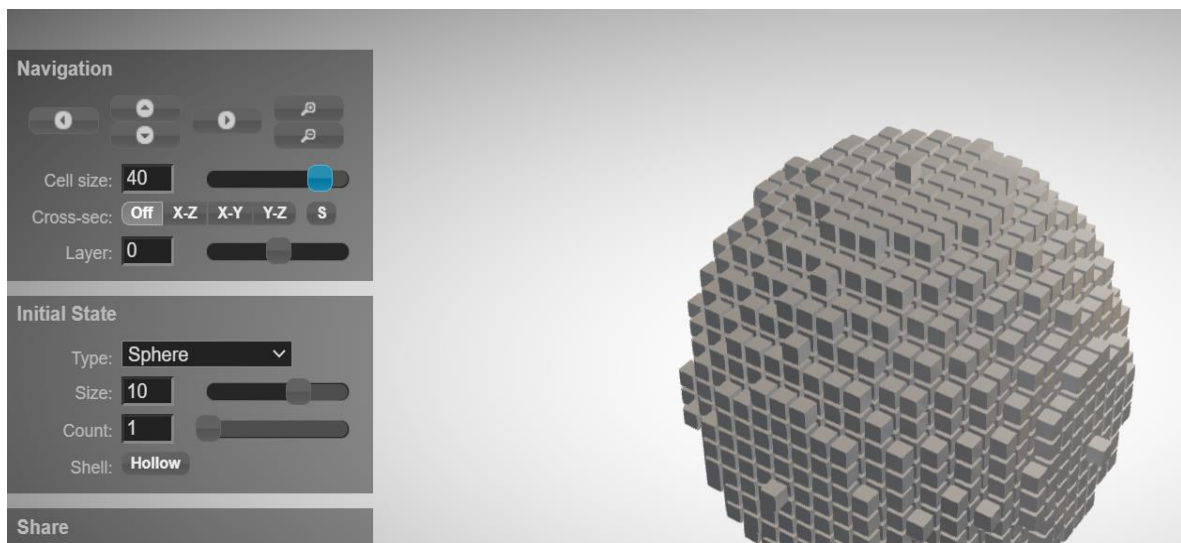


Рис. 1. Інтерфейс онлайн платформи cubes.io

Одними з визначних переваг, пов'язаними з вибором веб застосування є:

– Можливість зручно ділитись результатами своїх експериментів. Веб застосування дозволяє згенерувати посилання, яке можна зберегти і переслати його. Людина перейшовши по посиланню матиме змогу отримати збережений стан клітинного автомату.

– Кросплатформеність. Застосування підходить для роботи з будь-яких пристроїв, на які можна встановити браузер, що значно спрощує роботу з ним.

Незважаючи на ряд переваг, платформа має й ряд недоліків:

– Через застарілий дизайн та непрактичний UX, така перевага як кросплатформеність, реалізується не в повній мірі. Адже можливий доступ з мобільних пристроїв та планшетів унеможливується через непродуманість розміщення елементів для менших екранів – тобто, неадаптивної верстки (рис. 2).

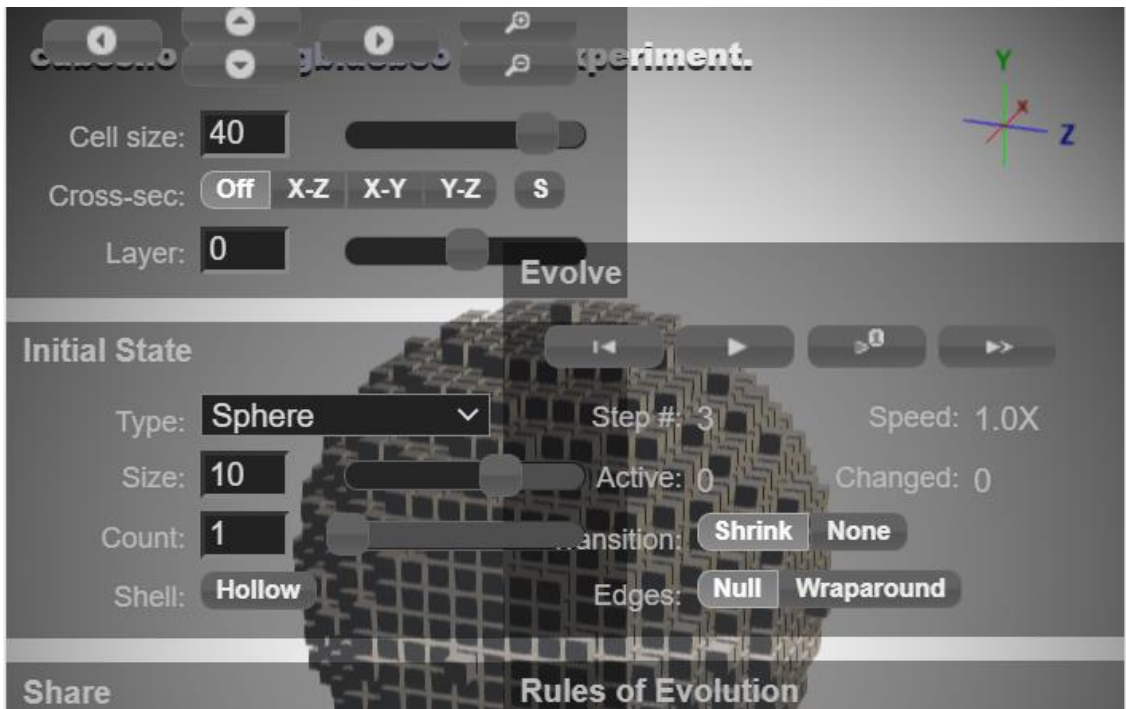


Рис. 2. Неадаптивна верстка онлайн платформи

– Окремим пунктом можна виділити коректну роботу застосування лише для деякого ряду браузерів.

– Неможливість зберігати стани клітинних автоматів та завантажувати їх на сайт приводить ще до одного недоліку – на платформі не можна зробити «крок назад» та відкотити

– Можливість обробляти великі масиви даних за допомогою хмарних технологій. Цей пункт присвячений не розкритій можливості використовувати хмарні технології для обчислень та зберігання великих даних для онлайн систем. Наведений приклад існуючого застосування не надає можливість користувачу працювати з великими даними, що унеможливує проведення масштабних експериментів для дослідження клітинних автоматів.

– Інтернет зв'язок. Даний недолік не можна не згадати, адже при відсутності або втраті інтернет зв'язку, користувач лишається можливості продовжувати роботу та дослідження. Розробники повинні враховувати можливість проблем зі стабільним інтернет-зв'язком та налаштувати певну систему автозберігання стану.

– Безпека даних. Завжди коли справа стосується зберігання даних в інтернеті, постає питання про безпечність, адже навіть найбільші корпорації світу з строгими протоколами безпеки стикаються із витіком інформації. І з цього боку звичайно безпечніше зберігати дані на власних серверах, ніж на хмарних сервісах чи деінде в інтернеті. Але для наукових даних, що не становлять якогось комерційного інтересу, це питання не постає критичним.

– Збереження даних. Не дивлячись на досить зручний спосіб ділитися збереженим станом клітинного автомату за допомогою генерації посилань, застосування не надає більше ніяких способів зберегти інформацію про стан клітинного автомату чи його еволюцію. Таким чином, якщо ця інформація видалиться з ресурсів розробника, то вона стане недоступною користувачу.

Висновки. Використання онлайн платформи для генерації та дослідження клітинних автоматів надає наступні переваги: кросплатформеність, доступ з мобільних девайсів і планшетів, можливість користуватися сучасними хмарними сервісами для обробки великих масивів даних, не використовуючи ресурсів своїх машин, можливість паралельного виконання та швидкий доступ до програми без потреби в інсталюванні. Разом з тим присутні і недоліки, такі як потреба у безперебійному інтернет-зв'язку та проблеми з безпекою даних в інтернеті. Не дивлячись на наявні недоліки, переваги вказують на доцільність використання онлайн засобів для дослідження клітинних автоматів і при належному підході до розробки програмного забезпечення ці технології можуть виявитись найкращим рішенням для побудови та симуляції життєвого циклу клітинних автоматів.

Література

1. Sutner, Klaus De Bruijn Graphs and Linear Cellular Automata. Complex Systems, 1991. Vol. 5, pp 19–30.
2. Wolfram S. Cellular automaton Fluids. J.Stat.Phys. 1986. Vol. 45. pp. 471-526.
3. Minsky, M. Cellular Vacuum. International Journal of Theoretical Physics. 21 (537–551): 1982.
4. Cellular Automaton. 2001. [URL:https://mathworld.wolfram.com/CellularAutomaton.html](https://mathworld.wolfram.com/CellularAutomaton.html) (дата звернення 01.05.2021)
5. Yves Bouligand. Fibroblasts, Morphogenesis and Cellular Automata. Disordered Systems and Biological Organization, 1986, pp. 367–379
6. Conway. The game of life. Scientific American 223.4 (1970), p. 4
7. Y. Su, W. S. Lei. Relationship between fracture toughness and fractal dimension of fracture surface of steel.Int. J. Fract., 106(3):L41–L46, 2000
8. Zalevska, O., Sydorenko, I., Naidysh, A., Finogenov, O., Yablonskyi, P., Ladogubets, T., & Miroshnichenko, I. (2021, February). Construction and Study of the Mathematical Model for the System Using Three-Dimensional

Cellular Automata. In 2021 IEEE 16th International Conference on the Experience of Designing and Application of CAD Systems (CADSM) (pp. 49-52). IEEE.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СРЕДСТВ ОНЛАЙН ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ТРЕХМЕРНЫХ КЛЕТОЧНЫХ АВТОМАТОВ

Залевская О.В., Финогенов А.Д., Ибнухсейн И., Суворова В.Е.

В работе рассматриваются преимущества использования онлайн средств для генерации клеточных автоматов. Клеточные автоматы – это дискретные, абстрактные вычислительные системы, которые оказались полезными как общие модели сложности, так и как более конкретные представления о нелинейной динамике в различных научных областях [1]. Клеточные автоматы есть пространственно и временно дискретными, абстрактными вычислительными системами: они могут вычислять функции и решать алгоритмические задачи. Несмотря на то, что они функционируют не так, как традиционные устройства, похожие на машины Тьюринга, клеточные автоматы с соответствующими правилами могут наследовать универсальную машину Тьюринга и, следовательно, вычислять, учитывая тезис Тьюринга, что угодно, что может быть вычислено [2].

Большой интерес составляет исследования трехмерных клеточных автоматов как имеющих наибольшую близость к объектам реального мира и, поведение которых остается наименее исследованным. Для их построения и симуляции эволюции требуется специализированное программное обеспечение. Для целей разработки этого программного обеспечения хорошо подходят онлайн технологии, которые имеют ряд преимуществ перед другими средствами. Такими преимуществами являются кроссплатформенность, доступ с мобильных устройств, планшетов и других гаджетов, имеющих выход в интернет через один из популярных браузеров, возможность пользоваться современными облачными сервисами для обработки больших массивов данных, не используя ресурсов своих машин, возможность параллельного выполнения и быстрый доступ к программе без необходимости в инсталлировании. Вместе с тем присутствуют и недостатки, такие как потребность в бесперебойном интернет-соединении и проблемы с безопасностью данных в интернете. Но, несмотря на существующие недостатки, учитывая то, что разработчики могут учитывать возможность проблем со стабильным интернет-соединением и настроить определенную систему автосохранения состояния, а также продумать протоколы безопасности для защиты данных, эти недостатки кажутся не столь значительными

по сравнению с недостатками альтернатив. Таким образом, можно обосновать целесообразность использования онлайн технологий для генерации и симуляции эволюции трехмерных клеточных автоматов.

Ключевые слова: клеточные автоматы, динамические системы, онлайн технологии, недостатки и преимущества, динамический процесс.

USE OF ONLINE TECHNOLOGIES TO BUILD THREE-DIMENSIONAL CELLULAR AUTOMATA

Olha Zelevska, Oleksii Finogenov, Ines Ibnukhsein, Valeriia Suvorova

The paper considers the advantages of using online tools to generate cellular automata. Cellular automata are discrete, abstract computing systems that have proven useful both as general models of complexity and as more concrete concepts of nonlinear dynamics in various scientific fields [1]. Cellular automata are spatially and temporally discrete, abstract computing systems: they can calculate functions and solve algorithmic problems. Although they function differently from traditional Turing-like devices, cellular automata with appropriate rules can inherit a universal Turing machine and therefore compute, given Turing's thesis, anything that can be computed [2].

Of great interest is the research in field of three-dimensional cellular automata as having the greatest proximity to the real world objects and the behavior of which remains the least studied. To build them and simulate evolution, specialized software is required. Online technologies are well suited for the development of this software and have several advantages over other tools. These advantages are cross-platforming, access from mobile devices, tablets and other gadgets with Internet access through one of the popular browsers, the ability to use modern cloud services to process large amounts of data without using the resources of your own machines, parallel execution and quick access to the program without installation. However, there are also disadvantages such as the need for a stable internet connection and problems with data security on the internet. But despite the existing drawbacks, given that developers can take into account the possibility of problems with a stable Internet connection and set up a certain autosave system, as well as think over security protocols to protect data, these drawbacks do not seem so significant compared drawbacks of alternatives. Thus, it is possible to substantiate the expediency of using online technologies to generate and simulate three-dimensional cellular automata.

Key words: cellular automata, dynamic systems, online technologies, disadvantages and advantages, dynamic process.

References

1. Sutner, Klaus (1991). "De Bruijn Graphs and Linear Cellular Automata" *Complex Systems*. 5: 19–30. [in English]
2. Wolfram S. (1986) Cellular automation Fluids. *J.Stat.Phys*, 45, 471-526. [in English]
3. Minsky, M. (1982) Cellular Vacuum. *International Journal of Theoretical Physics*, 21,537–551. [in English]
4. Cellular Automaton. (2001). [URL:https://mathworld.wolfram.com/CellularAutomaton.html](https://mathworld.wolfram.com/CellularAutomaton.html) (01.05.2021)
5. Y.Bouligand (1986). Fibroblasts, Morphogenesis and Cellular Automata. *Disordered Systems and Biological*, 367-379. [in English]
6. The game of life. (1970). *Scientific American* 223.4 p. 4 [in English]
7. Y. Su, W.S. Lei (2000). Relationship between fracture toughness and fractal dimension of fracture surface of steel. *Int. J. Fract.*, 106(3):L41–L46, [in English]
8. Zalevska, O., (2021, February). Construction and Study of the Mathematical Model for the System Using Three-Dimensional Cellular Automata. In 2021 IEEE 16th International Conference on the Experience of Designing and Application of CAD Systems (CADSM) (49-52). [in English]